بیستمین کنفرانس اپتیک و فوتونیک ایران
و ششمین کنفرانس مهندسی و فناوری فوتونیک ایران
۸ تا ۱۰ بهمن ماه۱۳۹۲ - دانشگاه صنعتی شیراز

کلیدزنی سولیتون کاواک تپنده در لیزر سولیتون کاواک

حمید واحد[۱]، محسن فتح‌الهی[۲] و علی رستمی[۱]

[۱]دانشکده مهندسی فن‌آوری نوین، دانشگاه تبریز، تبریز

[۲]پردیس‌دانشگاه تبریز، تبریز

چکیده – خواص کاربردی سولیتون کاواک، مثل امکان نوشتن و پاک کردن در نقاط اختیاری از سطح مقطع عرضی کاواک و امکان حرکت کنترل شده آنها، سبب ارائه کاربردهایی در خطوط درنگ تمام نوری، پردازش نوری اطلاعات و حافظه‌های نوری شده است. در این مقاله، امکان کلیدزنی نوع جدیدی از سولیتونهای کاواک بنام سولیتون کاواک تپنده در لیزر سولیتون کاواک بررسی شده است. دراین راستا، با محاسبات عددی و شبیه‌سازی و با انتخاب مناسب پارامترهای سیستم، کلیدزنی روشن و خاموش یک سولیتون کاواک تپنده در یک نقطه اختیاری از سطح مقطع عرضی کاواک نشان داده شده است.

کلید واژه- کلیدزنی، سولیتون کاواک تپنده، ، لیزر سولیتون کاواک

Switching of the Self-Pulsing Cavity Soliton in the Cavity Soliton Laser

Hamid Vahed[1], Mohsen Fathollahi[2] and Ali Rostami[1]

[1]School of Engineering-Emerging Technologies, University of Tabriz, Tabriz

University of Tabriz, Tabriz

Abstract- The applicant properties of the Cavity Soliton(CS) for example, writing and deleting of CS in the arbitrary positions of the transverse cross section in the cavity and the controlled motion of the CS, causes to present the application in the all-optical delay line, all-optical information processing and optical memories. In this paper, we investigated switching ON and OFF of the self-pulsing CSs in the Cavity Soliton Laser (CSL). Therefore, we showed the switching ON and OFF of the Self-pulsing-CS in the arbitrary position of the transverse cross section in the cavity by using of the numerical calculations and simulation and suitable selection of system parameters.

Keywords: Switching, Self-Pulsing Cavity Soliton, Cavity Soliton Laser

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

۱- مقدمه

امواج نوری تمایل دارند به علت پاشندگی و پراش در طول مسیر انتشار پهن شوند. حال اگر در محیط‌های نوری پهن‌شدگی حاصل از پاشندگی یا پراش، توسط پدیده‌های غیرخطی جبران شود، در آنصورت سولیتون نوری تولید خواهد شد[۱]. سولیتون‌های کاواک، لکه های روشن در زمینه تاریک و یا بالعکس (لکه‌های تاریک در زمینه روشن) در صفحه عرضی عمود بر راستای انتشار میدان الکتریکی هستند که در کاواک حاوی ماده غیرخطی به علت اندرکنش غیرخطی نور و ماده شکل می گیرند[۲]. با در نظر گرفتن صفحات عرضی عمود بر جهت انتشار پرتو، به عنوان تخته سیاهی می‌توان سولیتون‌های کاواک را در هر نقطه دلخواه روی آن نوشت یا پاک کرد و همچنین امکان حرکت کنترل شده سولیتونهای کاواک نیز تائید شده است[۴و۳]. این خواص منحصربفرد سولیتون‌های کاواک، انگیزه زیادی را ایجادکرده است تا تلاشهای گسترده‌ای برای فراهم کردن امکان استفاده از این سولیتون‌ها در فناوری اطلاعات، پردازش کاملا نوری اطلاعات و نیز اخیرا در گیت‌های منطقی تمام نوری صورت گیرد. قابلیت کلیدزنی و حرکت کنترل شده سولیتونهای کاواک با ایجا گرادیان موضعی در محیط، سولیتون های کاواک را به گزینه مناسبی برای استفاده در آرایه های شکل‌پذیر در پردازش تمام نوری اطلاعات تبدیل کرده است[۵]. در این مقاله امکان کلیدزنی نوع جدیدی از سولیتون کاواک با خاصیت دامنه تپنده، در لیزر سولیتون کاوک بررسی شده است. نتایج محاسبات عددی و شبیه‌سازیها نشان می‌دهد که میتوان این نوع از سولیتونها را در نقطه اختیاری از سطح عرضی کاواک با انتخاب مقادیر مناسب برای پارامترهای سیستم و باریکه نویسنده نوشت یا با استفاده از باریکه پاک کننده، خاموش کرد.

۲- معرفی مدل تئوری

دینامیک یک لیزر سولیتون کاواک از نوع VCSEL با جاذب اشباع پذیر با مجموعه معادلات زیر بیان شده است[۶]:

$$\frac{\partial F}{\partial t}=\left[(1-i\alpha)D+(1-i\beta)d-1+i\nabla_{\perp}^{2}\right]F \qquad (۱-a)$$

$$\frac{\partial D}{\partial t}=b_1\left[\mu-D\left(1+|F|^2\right)-BD^2\right] \qquad (۱-b)$$

$$\frac{\partial d}{\partial t}=b_2\left[-\gamma-d\left(1+s|F|^2\right)-Bd^2\right] \qquad (۱-c)$$

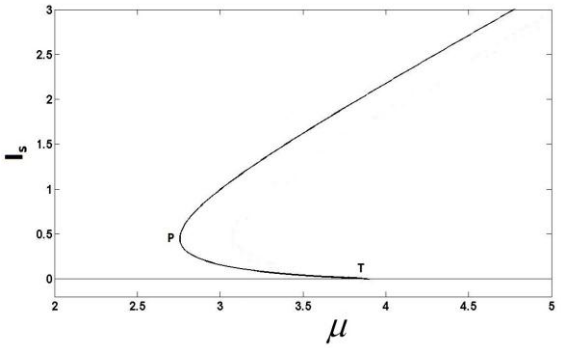
که ، F، دامنه کند تغییر میدان الکتریکی درون کاواک است. ، D، و ، d، متغییرهای مربوط به جمعیت حاملین به ترتیب در محیط فعال و جاذب هستند. پارامترهای ، α، و ، b_1 (b_2,β)، به ترتیب فاکتور افزایش خط و نسبت طول عمر فوتون در کاواک به طول عمر غیر نوری حاملین ، τ_{Ph}/τ_{nr} ، در محیط بهره (جاذب) هستند. ، B، ضریب بازترکیب نوری حاملین در نیم رسانا و ، s، پارامتر اشباع است. ، μ، پارامتر دمش جریان الکتریکی در محیط بهره و ، γ، پارامتر جذب در محیط جاذب اشباع پذیر را نشان می‌دهد. در این معادلات زمان بر حسب طول عمر فوتون در کاواک خالی $(\approx 3ps)$ و مکان بر حسب طول پراش $(\approx 5\mu m)$ مقیاس بندی شده است.

از میان جوابهای ممکن معادلات، جوابی ایستا است که تغییرات زمانی نداشته باشد که با صفر قرار دادن مشتقات زمانی بدست می‌آید($\dot{F}=\dot{D}=\dot{d}$) و جوابی همگن است که متغییرهای سیستم هیچگونه وابستگی به مختصات فضایی عرضی x و y نداشته باشند که در اینصورت باید جمله لاپلاسین نیز صفر در نظر گرفته شود. جوابی که هر دو خاصیت ایستایی و همگنی را داشته باشد، جواب ایستای همگن (HSS) نامیده می‌شود. بنابراین حل ۳ معادله جفت شده بالا، در شرایط ایستای همگن ($\dot{F}=\dot{D}=\dot{d}=0,\nabla_{\perp}^{2}F=0$) منجر به دو دسته جواب بدیهی (حالت غیرلیزرزا) و جواب غیربدیهی (حالت لیزرزا) شده است. تحلیل پایداری خطی جوابهای همگن، مقادیر $B=0.1$، $\alpha=2$، $\beta=1$، $\gamma=1.6$ و $s=3$، را برای پارامترهای سیستم نتیجه داده است. در شکل (۱) منحنی شدت همگن ایستا بر حسب پارامتر دمش (μ) رسم شده است و در آن، حالت دوپایایی بین نقاط T و P دیده می‌شود.

در ادامه، برای بررسی دینامیک سیستم، این سه معادله جفت شده از طریق شبیه‌سازی عددی و بکارگیری روش گام مجزا، با شرایط مرزی پریودیک در یک شبکه فضایی دو بعدی 128×128 با گام فضایی $ds=0.25$ و گام

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

زمانی $dt = 0.01$ حل شده‌اند.



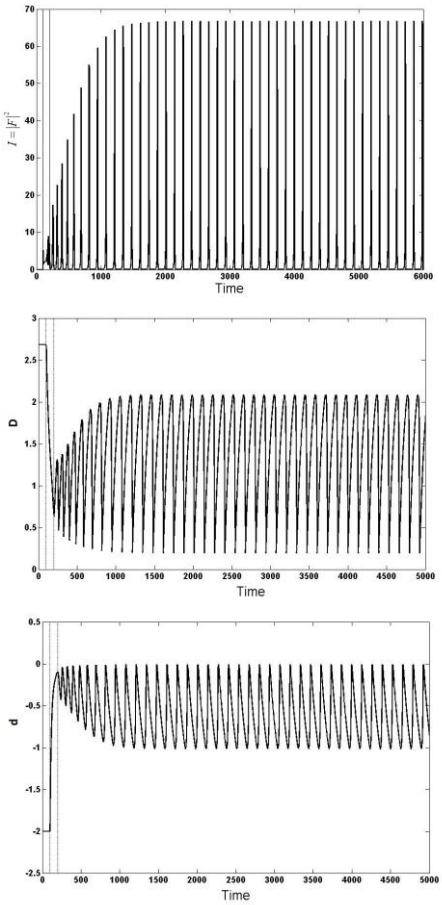
شکل ۱: منحنی شدت همگن ایستا (I_s) بر حسب پارامتر دمش (μ) رسم شده است. مقادیر پارامترها عبارتند از: $\alpha = 2, \beta = 1, \gamma = 1.6, B = 0.1$ و $s = 3$.

کلیدزنی سولیتون کاواک تپنده

برای کلیدزنی سولیتون کاواک تپنده از روش تزریق نیمه‌همدوس در فرکانس کاواک استفاده شده است. در کلیدزنی نیمه همدوس، یک میدان تکرنگ که در تشدید یا نزدیک تشدید با کاواک است در کاواک تابش شده است. این تابش با اضافه کردن میدان زیر

$$F_{inj}(x,y) = F_0 e^{i\varphi_0} e^{[-(x-x_0)^2-(y-y_0)^2]/2w^2} \qquad (۲)$$

به مدت t_{inj} در معادله (۱-a) شبیه‌سازی شده است که نشانگر این است که پرتو نویسنده با توزیع شدت گاوسی با دامنه F_0، پهنای w، و فاز φ_0، به نقطه (x_0, y_0)، در مدت زمان t_{inj}، تابش شده است. شبیه-سازیهای انجام گرفته نشان می‌دهد که محدوده پایداری سولیتون کاواک به نسبت نرخ واپاشی حاملین بار در دو محیط بهره و جاذب($r = b_2 / b_1$) وابستگی زیادی دارد. نتایج ما نشان می‌دهد که برای $\mu = 3.4$ به ازای مقادیر $0.88 < r < 0.98$ سولیتون کاواک تپنده خواهیم داشت. ما با انتخاب $\mu = 3.4$ و $r = 0.97$ توانستیم به ازای دامنه تزریق $F_{inj} = 5$ ، زمان تزریق $t_{inj} = 100$ ، فاز $\varphi_0 = 0$ و پهنای تزریق $w = 2$ یک سولیتون کاواک تپنده در مرکز صفحه عرضی کاواک روشن کنیم. شکل (۲)، دینامیک شدت میدان الکتریکی($I = |F|^2$)، جمعیت حاملین در محیط فعال(D) و جمعیت حاملین در محیط بهره (d) را در نقطه $(x_0 = 0, y_0 = 0)$ در محل شکل گیری سولیتون کاواک تپنده نشان داده است.

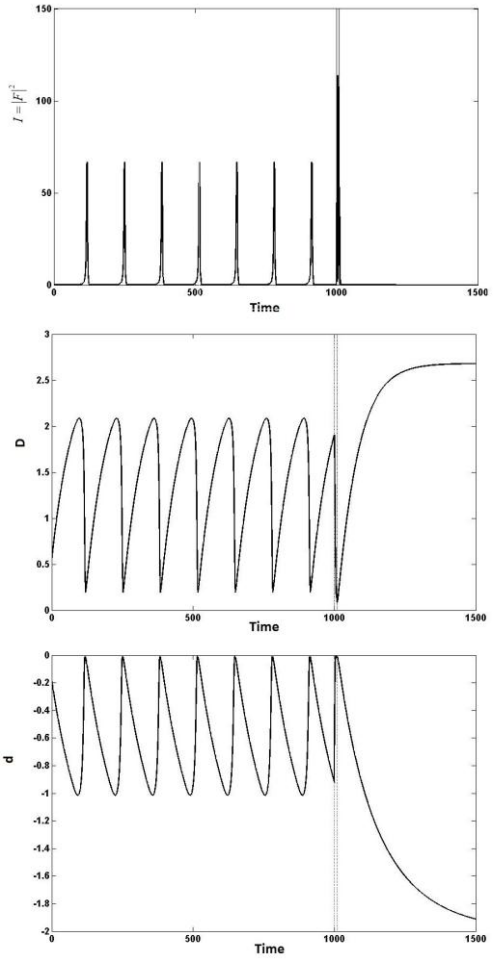


شکل۲) به ترتیب از بالا به پایین، دینامیک شدت میدان الکتریکی (I)، جمعیت حاملین در محیط بهره (D) و جمعیت حاملین در محیط جاذب اشباع پذیر (d) در فرایند نوشتن سولیتون کاواک رسم شده است. دو خط عمودی در نقاط ۱۰۰ و ۲۰۰ واحد زمانی، بازه زمانی تزریق باریکه نویسنده گاوس شکل را نشان می‌دهد.

در فرآیند نوشتن سولیتون کاواک تپنده، ابتدا سیستم در شاخه پایینی منحنی دوپایایی در حالت شدت نویزناشی از گسیل خودبخودی قرار دارد، سپس به مدت زمان ۱۰۰ واحد زمانی باریکه نویسنده به مرکز صفحه عرضی کاواک تزریق شده است. بعد از اتمام تزریق، یک قله شدت در محل تزریق ایجاد شده که تا حدود ۱۰۰۰ واحد زمانی این قله شدت ضمن نوسان، مقدار دامنه قله

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]

خود را نیز افزایش می‌دهد تا اینکه از ۱۰۰۰ واحد زمانی به بعد ما شاهد یک قله نوسانی با پریود حدود ۱۲۵ واحد زمانی هستیم، که این یک سولیتون کاواک تپنده است که در داخل کاواک شکل گرفته است.



شکل۳) به ترتیب از بالا به پایین، دینامیک شدت میدان الکتریکی (I)، جمعیت حاملین در محیط بهره (D) و جمعیت حاملین در محیط جاذب اشباع پذیر (d) در فرایند پاک کردن سولیتون کاواک تپنده رسم شده است. دو خط عمودی در نقاط ۱۰۰۰ و ۱۰۱۰ واحد زمانی، بازه زمانی تزریق باریکه پاک کننده را نشان می‌دهد.

همچنین، ما توانستیم سولیتون کاواک تپنده در مرکز صفحه عرضی را با تزریق یک باریکه پاک کننده با مشخصات دامنه تزریق $F_{inj}=10$ ، زمان تزریق $t_{inj}=10$ و پهنای تزریق $w=2$ خاموش کنیم. شکل (۳) دینامیک شدت میدان الکتریکی($I=|F|^2$)، جمعیت حاملین در محیط بهره (D) و جمعیت حاملین در محیط جاذب اشباع پذیر (d) را در نقطه $(x_0=0, y_0=0)$ در فرآیند پاک کردن سولیتون کاوک تپنده نشان داده است. در شبیه سازیهای انجام گرفته، باریکه پاک کننده گاوسی در بازه زمانی ما بین ۱۰۰۰ تا ۱۰۱۰ واحد زمانی به محل سولیتون کاواک تپنده تزریق شده و سولیتون به سرعت پا ک شده است.

۳- نتیجه‌گیری

امکان نوشتن و پاک کردن سولیتون کاواک تپنده با انتخاب مناسب پارامترهای سیستم و تزریق باریکه‌های نوری گاوسی با مقادیر پارامترهای مناسب در لیزر سولیتون کاواک نشان داده شد.

۴- مراجع

[1] Boyed R., *Nonlinear Optics*, Elseveir, Third Ed. 2008

[2] Lugiato L. *Introduction to the feature section on cavity solitons: An overview* **IEEE J. Quantum Electron**. 39 (2003) 193.

[3] Barbay S., Kuszelewicz R. and Tredicce J., *Cavity Solitons in VCSEL Devices* **Advances in Optical Technologies**, 2011 (2011) 628761.

[4] Hachair X., Pedaci F., Caboche E., Barland S., Giudici M., Tredicce J. R., Prati F., Tissoni G., Kheradmand R., Lugiato L. A., Protsenko I. and Brambilla M., *Cavity solitons in a driven VCSEL above threshold*, **IEEE J. Sel. Top. Quantum Electron**. 12 (2006) 339.

[5] Barland S., Tredicce J. R., Brambilla M., Lugiato L. A., Balle S., Giudici M., Maggipinto T., Spinelli L., Tissoni G., KnÄodel T., Miller M., JÄager R., *Cavity solitons as pixels in semiconductors*, **Nature** 419 (2002) 699.

[6] Prati F., Caccia P., Tissoni G., Lugiato L. A., Aghdami K. and Tajalli H., *Effects of carrier radiative recombination on a VCSEL-based cavity soliton laser* **Appl. Phys. B: Lasers Opt**. 88 (2007) 405.

[Downloaded from www.opsi.ir on 2026-11-06]